DOI: 10.25698/UGV.2018.4.5.26 УДК 550.34.06.013.3

СЕЙСМИЧЕСКИЕ И ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ПРОИЗОШЕДШИХ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ 5 И 29 СЕНТЯБРЯ 2018 ГОДА

Кусонский О.А. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург; Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», Обнинск
Бебнев А.С. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. На Урале в районе г. Катав-Ивановск Челябинской области в сентябре 2018 г. произошло два тектонических землетрясения. Первое зарегистрировано 5 сентября 2018 г. Оно проявилось в виде двух сейсмических толчков в 03 ч 58 мин и в 12 ч 27 мин по местному времени. Второе – 29 сентября 2018 г. в 15 ч 06 мин. Сейсмические станции ARU и ARTI (последняя действует с 9 сентября 2018 г.), находящиеся на наименьшем удалении от эпицентра и оснащенные современными сейсмической и гравиметрической станциями, зарегистрировали детальные сейсмограммы и гравиметрический сигнал, по которым можно судить об особенностях развития сейсмического процесса землетрясений во времени. По их данным магнитуда первого толчка составила ≈4,7(mb), второго ≈3,0(mb). Первое землетрясение сопровождалось 37 афтершоками. Последний афтершок произошел 26 сентября 2018 г. в 15 ч 14 мин. Магнитуда афтершоков составляла 1,6–2,7(md). После землетрясения по гравиметрическим данным отмечены возможные постсейсмические деформации на расстоянии около 200 км. Магнитуда второго землетрясения более 3,1(md). Оно сопровождалось форшоками и афтершоками. Эпицентры землетрясений расположены в Западно-Уральской внешней зоне на границе с Предуральским прогибом. Слабые сейсмические события в этой структуре регистрировались в 2004, 2006 гг. и ощутимое землетрясение – в 2015 г.

Землетрясение, сейсмические волны, гравиметрический сигнал, геологическое строение.

SEISMIC AND GRAVIMETRIC DATA OF EARTHQUAKES, HAPPENED IN THE CHELYABINSK REGION, 5 AND 29 SEPTEMBER 2018

Kusonsky O.A. – Institute of Geophysics UB RAS, Yekaterinburg; Federal research centre "Uniform geophysical service of Russian Academy of Sciences", Obninsk
Bebnev A.S. – Institute of Geophysics UB RAS, Yekaterinburg

Abstract. In the Urals near the town of Katav-Ivanovsk, Chelyabinsk region in September 2018, two tectonic earthquakes occurred. The first one was registered on September 5, 2018. It manifested itself in the form of two seismic shocks at 03 o'clock 58 min and at 12 o'clock 27 min by local time. The second – September 29, 2018 at 15 o'clock 06 min. ARU and ARTI seismic stations (the latter is valid from September 9, 2018), located at the smallest distance from the epicenter and equipped with modern seismic and gravimetric stations, recorded detailed seismograms and a gravimetric signal, which can be used to judge the features of seismic earthquake process development over time. According to their data, the magnitude of the first shock was ≈4.7 (mb), the second ≈3.0 (mb). The first earthquake was accompanied by 37 aftershocks. The last aftershock occurred on September 26, 2018 at 15 o'clock 14 min. The aftershock magnitude was 1.6–2.7 (md). The magnitude of the second earthquake is over 3.1 (md). It was accompanied by forshocks and aftershocks. The epicenters of earthquakes are located in the West-Ural outer zone on the border with the Cis-Ural trough. Weak seismic events in this area were recorded in 2004 and 2006.

Earthquake, seismic waves, gravimetric signal, geological structure.

Введение

Становление Уральского новейшего орогена сопровождается редко происходящими тектоническими землетрясениями с магнитудой от 3 до 6 и силой от 3–4 до 5–6 баллов в эпицентре по шкале MSK-64. Сразу два таких землетрясения произошли 5 сентября (по Гринвичскому времени – 4 сентября) и 29 сентября 2018 г. с эпицентрами, находящимися в районе г. Катав-Ивановска Челябинской области. За последние годы аналогичные ощутимые землетрясения были зарегистрированы на Урале в январе и октябре 2015 г. В районе

г. Катав-Ивановска ранее также происходили тектонические сейсмические события, но меньшей силы. Так, 7 июля 2004 г. здесь были зарегистрированы два сейсмических толчка в 06 ч 31 мин и 06 ч 46 мин по местному времени с магнитудой 2,1 и 2,8 соответственно, 2 октября 2006 г. – два сейсмических события в 05 ч 38 мин и 05 ч 45 мин, сопровождающиеся афтершоками. Их магнитуда около 1,9. Положение эпицентров последних землетрясений близко к эпицентру событий прошлых лет. Расстояние между ними составляет не более 50 км. Обычно тектонические сейсмические события на Урале происходят в виде одиночных толчков и не сопровождаются афтершоками. События в Челябинской области, как теперь можно судить по результатам сейсмологических наблюдений, отличаются от других, регистрируемых на Урале, тем, что они характеризуются наличием форшоков и афтершоков разной магнитуды. Это может быть обусловлено особенностями геологического строения района. По сейсмограммам станций ARU и ARTI, гравиметрическим мониторинговым данным, полученным в обсерватории «Арти», можно судить о деталях развития сейсмического процесса землетрясений во времени.

Исходные данные, аппаратура и методика

Исходными данными являются сейсмические и гравиметрические записи сигналов землетрясений, произошедших в районе г. Катав-Ивановска Челябинской области. Они были зарегистрированы в обсерватории «Арти» сейсмической станцией ARU (станция закрыта 6 сентября 2018 г.), сейсмической станцией ARTI ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» (станция начала работу 9 сентября 2018 г.) и гравиметрическим мониторинговым гравиметром gPhone.

Сейсмостанции оснащены сейсмометрами STS-1, GS-13, STS-2, регистрирующими скорость смещения по трем компонентам в диапазоне частот от 40 до 10^{-3} Гц. Сейсмометры размещены в специальном подземном приборном помещении на глубине около 6 м. Они установлены на бетонном постаменте, сооруженном из высокопрочного бетона на скальных породах. Это обеспечивает высокое качество приема сейсмических волн. Обработка сейсмограмм и определение параметров сейсмических событий проводилась в соответствии с регламентом и методикой, рекомендованной ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» и инструкцией (Инструкция … , 1981). Координаты сейсмостанции ARU 56,429° с.ш. 58,562° в.д., ARTI – 56,3878° с.ш., 58,3849° в.д.

Гравиметрическая станция gPhone регистрировала относительное изменение ускорения силы тяжести в диапазоне частот от 0 до 1 Гц с разрешающей способностью 0,1 мкГал. Гравиметрическая станция размещена на государственном абсолютном гравиметрическом пункте, организованном в обсерватории «Арти» в 2012 г. Координаты места наблюдений 56,4298° с.ш., 58,5602° в.д. Гравиметрический пункт сооружен на бетонном постаменте, находящемся в техническом здании обсерватории. Условия регистрации гравиметрического сигнала отличаются высоким качеством. Непрерывные гравиметрические наблюдения выполняются с 2014 г.

Для регистрации сейсмограмм сейсмических событий, произошедших в том же районе в 2004 и 2006 гг., в обсерватории «Арти» применялся этот же комплект сейсмометров. Гравиметрический сигнал в то время не регистрировался.

Результаты исследования

Сейсмический процесс первого землетрясения включал сильный толчок, произошедший 4 сентября 2018 г. в 22:58:15 (здесь и далее время GMT) с магнитудой 4,7(mb) и серию из 16 менее сильных афтершоков, в основном регистрируемых до 6 сентября. Наиболее сильный из них зарегистрирован 5 сентября в 07:27:15 с магнитудой 3,0(mb). Последний афтершок был отмечен 26 сентября в 10:14:31. Глубина до гипоцентра землетрясения составила 10 км, среднее расстояние в угловых градусах от точки регистрации до эпицентра 1,915° (табл. 1). В таблице это номера собы-

Таблица 1. Некоторые результаты обработки сейсмограмм землетрясений, произошедших 5 и 29 сентября 2018 г. в Челябинской области в районе г. Катав-Ивановск

Номер события п/п	Дата. Время GMT в очаге, ч:мин:с	Время GMT вступления объемных волн, ч:мин:с		Расстояние до эпицентра, градус	Географические координаты эпицентра, градус		Магнитуда
		P-волна	*S*-волна		северная широта	восточная долгота	
1	4.09.2018 22:58:15,9	22:58:48,5	22:59:13,5	1,917	54,5490	57.9019	4,7 mb; 4,4 md
2	4.09.2018 23:14:18,0	23:14:50,7	23:15:15,6	1,919	54,5242	58,1557	2,0 md
3	4.09.2018 23:19:16	23:19:48,7	23:20:13,7	1,917	54,5372	58,0107	2,2 md
4	4.09.2018 23:37:43,3	23:38:15,8	23:38:40,7	1,906	54,5375	58,1542	2,7 md
5	4.09.2018 23:53:52,8	23:54:25,4	23:54:50,4	1,918	54,5452	57,9341	2,3 md
6	5.09.2018 00:17:29,8	00:18:02,4	00:18:27,4	1.915	54,5341	58,0805	1,6 md
7	5.09.2018 00:18:25,3	00:18:57,8	00:19:22,6	1,904	54,5719	57,8243	2,2 md
8	5.09.2018 00:47:49,1	00:48:21,6	00:48:46,6	1,914	54,5432	58,0022	2,5 md
9	5.09.2018 01:49:00,8	01:49:33,3	01:49:58,2	1,905	54,5380	58,1461	1,6 md
10	5.09.2018 01:52:46,7	01:53:19,3	01:53:44,3	1,918	54,5497	57,8900	2,3 md
11	5.09.2018 02:07:08,9	02:07:41,4	02:08:06,3	1,906	54,5406	58,1059	1,6 md
12	5.09.2018 02:11:02,4	02:11:35,1	02:12:00,0	1,917	54,5302	58,1144	1,6 md
13	5.09.2018 03:47:06,6	03:47:39,5	03:48:04,6	1,929	54,5067	58,2879	<1,6 md
14	5.09.2018 05:35:47,6	05:36:20,2	05:36:45,1	1,909	54,5210	58,4446	2,7 md
15	5.09.2018 07:27:15,5	07:27:48,3	07:28:13,5	1,931	54,5132	58,1101	3,0 mb; 2,9 md
16	5.09.2018 14:45:22,6	14:45:55,2	14:28:13,5	1,931	54,5132	58,1101	1,8 md
17	6.09.2018 01:14:35,5	01:15:08,2	01:15:33,2	1,919	54,5134	58,3502	1,8 md
18	9.09.2018 22:04:33,0	22:05:01,6	22:05:23,2	1,630	54,7688	58,0341	1,8 md
19	18.09.2018 17:55:27,9	17655:56,4	17:56:17,9	1,624	54,8024	57,7614	1,7 md
20	26.09.2018 10:14:31,3	10:15:04,9	10:15:30,7	1,987	54,4164	57,9511	1,8 md
21	29.09.2018 09:06:49,4	09:07:18,5	09:07:40,4	1,659	54,7429	57,9932	>3,1 md
22	29.09.2018 11:02:12,2	11:02:41,6	11:03:03,8	1,683	54,7160	58,0348	2,0 md

Примечание: mb – магнитуда по объемной волне; md – магнитуда по длительности записи. Значения географических координат эпицентра определены по данным одной сейсмостанции с погрешностью ±0,5°. Расстояние до эпицентра – с погрешностью ±0,002°.

тий 1–17, 20. В 04:57 6 сентября сейсмостанция ARU была остановлена. Приступившая к работе 9 сентября 2018 г. сейсмостанция ARTI зарегистрировала в период по 26 сентября еще 15 сейсмических событий, но с эпицентрами, расположенными в 30–40 км к северу от эпицентра основного землетрясения на среднем расстоянии 1,647°. Их магнитуда 1,7–2,0(md). Эти события можно рассматривать как форшоки второго землетрясения (номера 18, 19, табл. 1). Второе землетрясение произошло 29 сентября 2018 г. в 09:06:49 с магнитудой >3,1(md). Оно сопровождалось 14 афтершоками, зарегистрированными в период до 2 октября. Их магнитуда составляла 1,7–1,8(md). В таблице это номер 21 и одного первого афтершока – 22. Эпицентры события и афтершоков расположены на среднем расстоянии 1,644°, т. е. там, где регистрировались события-форшоки.

На рис. 1 приведены сейсмограммы первого основного толчка землетрясения (номер 1, в табл. 1), двух афтершоков, по-

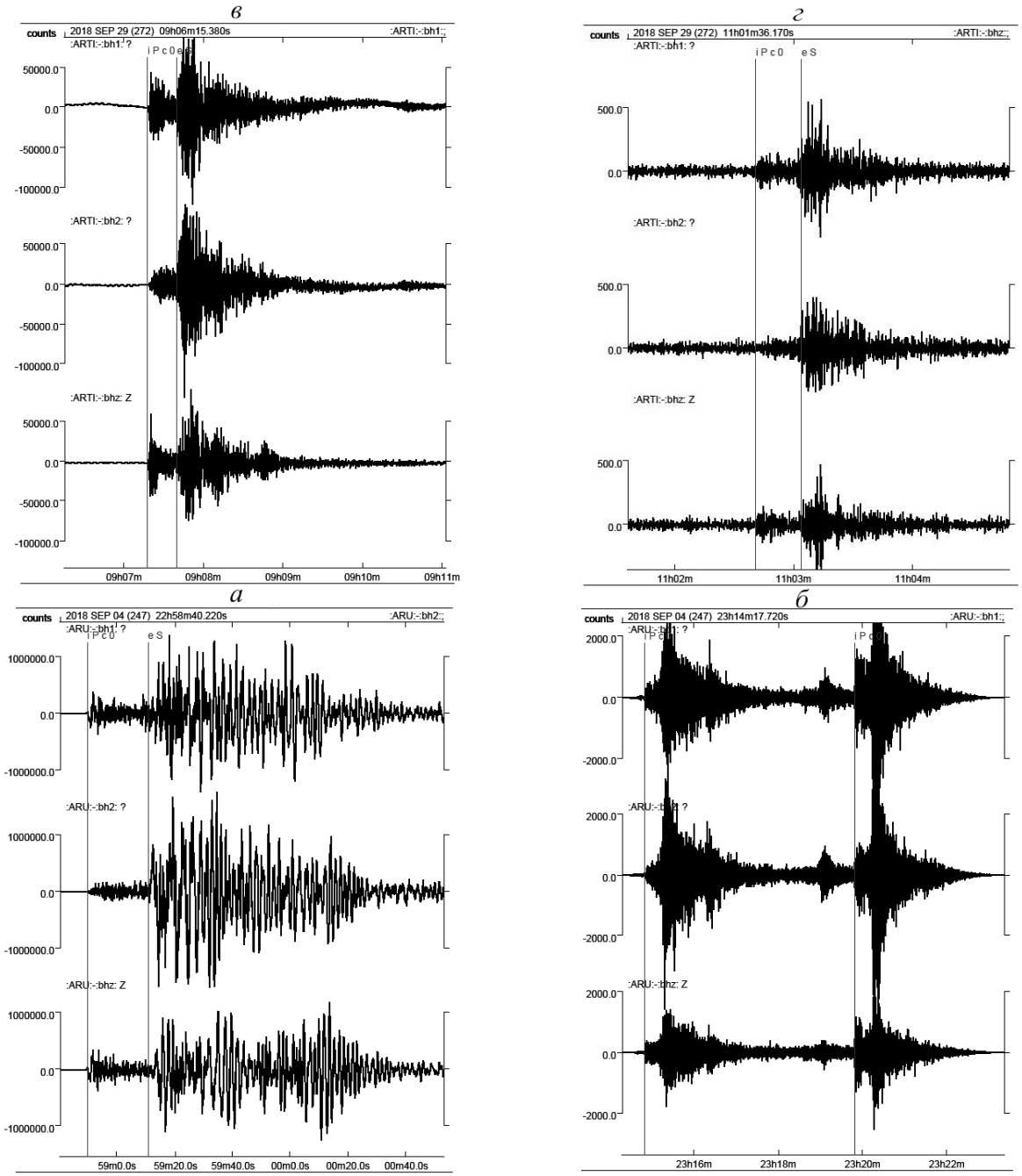

Рис. 1. Сейсмограммы землетрясений: *а* – 4 сентября 2018 г., *б* – двух последующих за ним афтершоков; *в* – 29 сентября 2018 г., *г* – одного последующего за ним афтершока

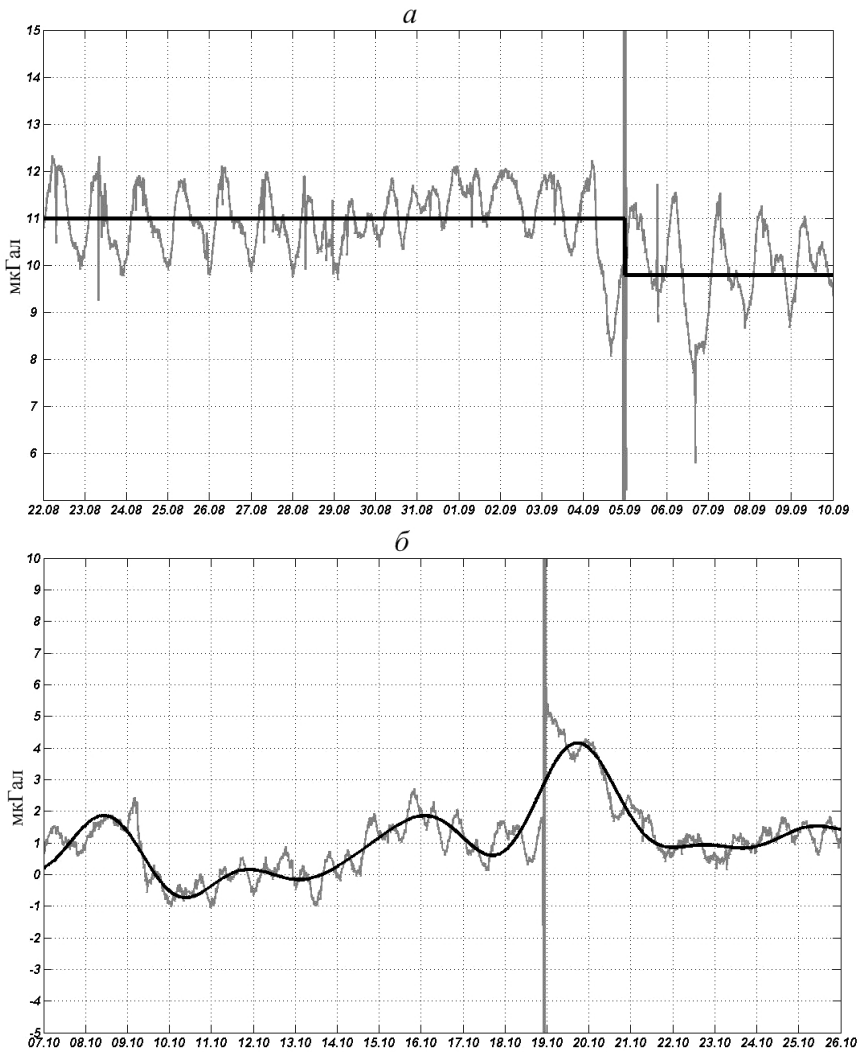

Рис. 2. Графики относительного изменения ускорения силы тяжести на обсерватории «Арти» по результатам регистрации гравиметра gPhoneX:
а – в период 22.08.2018–10.09.2018; *б* – в период 07.10.2015 – 26.10.2015.
Горизонтальная ось – дата (число, месяц);
вертикальная ось – относительное изменение ускорения силы тяжести в мкГал

следующих сразу после основного события (номера 2 и 3, табл. 1), сейсмического события 29 сентября и его афтершока. Расстояние от сейсмостанции до эпицентра землетрясений составляет около 200 км, поэтому землетрясения относятся к категории местных (локальных) неглубокофокусных и характеризуются малой общей длительностью записи и высокочастотным составом колебаний (Инструкция … , 1981). На сейсмограммах выделяются вступление головных продольных и поперечных волн P_n и S_n, распространяющихся по границе Мохоровичича. Выделяются также вступления продольных и поперечных волн P_g и S_g. Самые большие амплитуды в записях близких землетрясений имеют коровые каналовые волны L_g. Момент вступления всех волн сопровождается заметными изменениями азимута плоскости колебания частиц. Гипоцентры землетрясений находятся на глубине 10 км в породах древнего кристаллического фундамента.

На рис. 2 приведены графики относительного изменения ускорения силы тяжести на обсерватории «Арти» для периодов времени 22.08.2018–10.09.2018 (*а*) и 07.10.2015–26.10.2015 (*б*). Кривые представляют собой средние 5-минутные значения. Приливные вариации, дрейф, влияние атмосферных масс, искажения вследствие смещения вертикальной оси грави-

метра (наклоны) удалены.

Время вступления сейсмических волн от землетрясений на 5-минутных графиках отображаются в виде импульсов большой амплитуды. Однако гравитационный эффект геодинамических процессов, приводящих в итоге к землетрясению, должен проявляться не в момент прохождения сейсмических волн (в данном случае эти импульсы можно рассматривать как помехи на записи), а до и после самого события.

Для события, произошедшего 4 сентября 2018 года, характерно скачкообразное уменьшение среднего значения ускорения силы тяжести на Δg = –1,2 мкГал (черная кривая, рис. 2, *а*). Это может свидетельствовать об увеличении высоты точки наблюдения после сейсмического события на 4 мм (если воспользоваться величиной редукции за высоту с нормальным градиентом, равной 308,6 мкГал/м). Аналогичный эффект наблюдался и в результате землетрясения 18 октября 2015 г. Также характерно скачкообразное изменение ускорения силы тяжести, однако в данном случае произошло его увеличение на Δg = = 3–4 мкГал. Это может свидетельствовать об уменьшении высоты точки наблюдения на 10–12 мм. Также следует отметить более сложный характер изменения ускорения силы тяжести для данного события (черная кривая, рис. 2, *б*). После скачкообразного увеличения в момент землетрясения величины ускорения силы тяжести, в течение последующих трех суток наблюдается постепенное её снижение. Также обращают на себя внимание плавные изменения амплитуды до 2 мкГал непосредственно перед событием. Их можно интерпретировать как флуктуации высоты точки регистрации перед землетрясением. Наблюдение вариаций абсолютных суточных значений координат геодезического репера Artu GPS (сеть NEDA), имеющегося в обсерватории «Арти», зарегистрировали изменения его положения в геоцентрической системе координат ПЗ-90, которые качественно и количественно соответствуют гравиметрическим данным.

Обсуждение результатов

Эпицентры землетрясений 4 и 29 сентября 2018 г. на карте укрупненного тектонического районирования докембрия и палеозоя Урала расположены в Западно-Уральской внешней зоне складчатости в Ашинско-Алимбетовской структуре (Геологическая карта…, 1985), непосредственно на границе с Предуральским прогибом (Бельская мегавпадина) (рис. 3, события 13–15). Здесь внешняя зона складчатости в меридианальном направлении имеет ширину около 10–15 км. В 50 км севернее их прорывает с востока Башкирский антиклинорий Центрально-Уральского поднятия. В этом месте он разделяет на две части: северную и южную Западно-Уральскую внешнюю зону и Предуральский прогиб. Эпицентры обоих землетрясений находятся с южной стороны Башкирского антиклинория. Расстояние между ними составляет 30–40 км, и расположены они вдоль границы с Предуральским прогибом. В 2004 г. здесь также были зарегистрированы два слабых сейсмических события, в 2006 г. – два события, каждый из которых сопровождался афтершоком в течение нескольких секунд после основного толчка (Кусонский, 2012). По схеме сейсмичности в этом районе можно ожидать землетрясения до 5 баллов (Гуляев, 2016).

Сейсмический процесс, связанный с землетрясением 4 сентября 2018 г., длился до 26 сентября, возможно, и дольше. В этот период сейсмостанциями ARU и ARTI было зарегистрировано 16 афтершоков (см. табл. 1). По гравиметрическим данным, подтвержденным геодезическими наблюдениями суточных значений координат репера Artu GPS, после первого толчка отмечено увеличение высоты точки наблюдения, расположенной на расстоянии около 200 км от эпицентра в северном направлении, примерно на 4 мм. Это может свидетельствовать о вздымании участка земной поверхности, прилегающего к эпицентру. Вблизи эпицентра эта величина может быть значительно больше. Это явление наблюдалось в течение всего периода сейсмического процесса. Релаксация поверхности

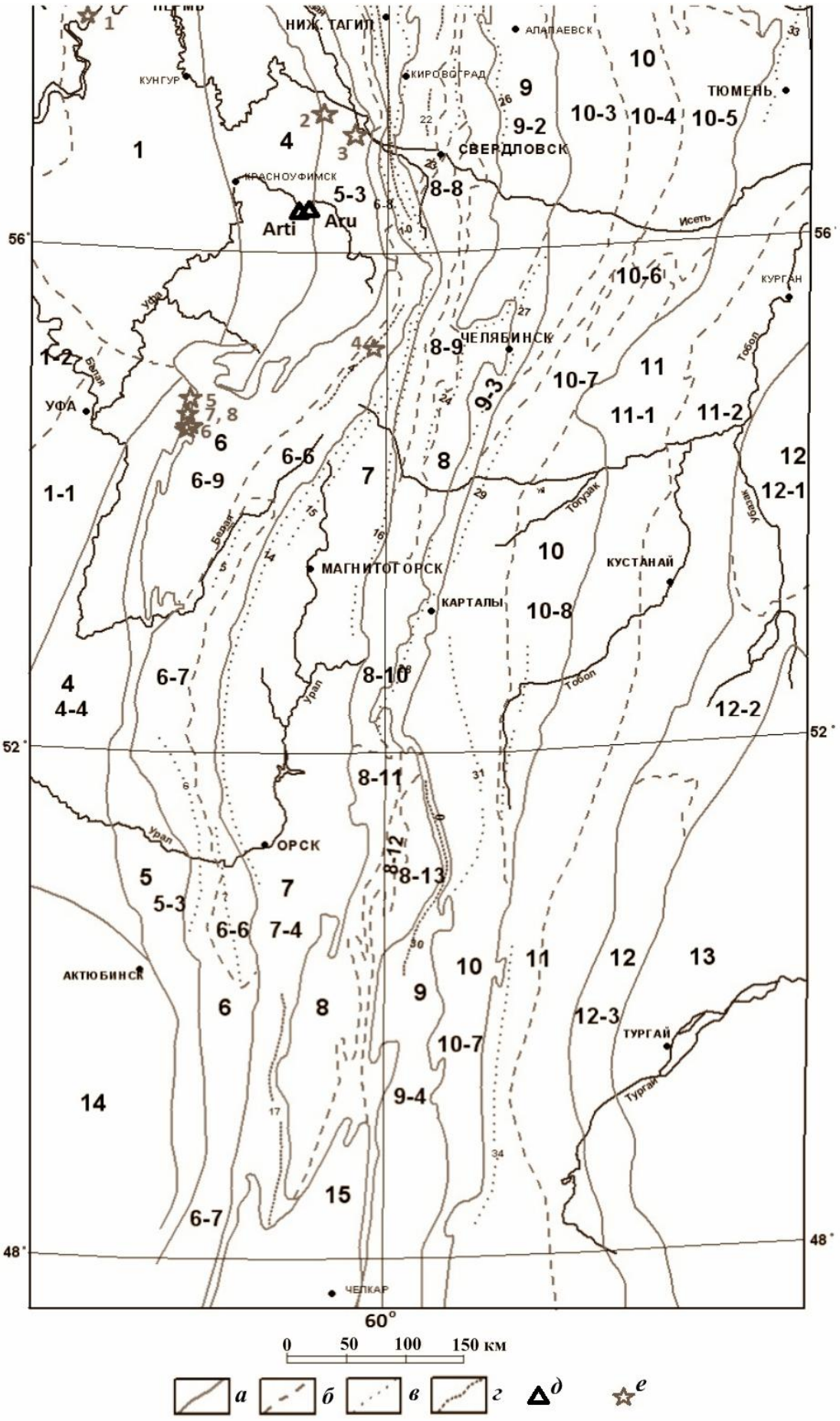
НИЖ. ТАГИЛ
АЛАПАЕВСК
КИРОВОГРАД
КУНГУР
ТЮМЕНЬ
СВЕРДЛОВСК
КРАСНОУФИМСК
Arti
Aru
Исеть
КУРГАН
ЧЕЛЯБИНСК
УФА
Уфа
Белая
Тобол
Торгай
Убаган
Белорет
МАГНИТОГОРСК
КУСТАНАЙ
КАРТАЛЫ
Урал
ОРСК
АКТЮБИНСК
ТУРГАЙ
Тургай
ЧЕЛКАР
56°
52°
48°
60°
0 50 100 150 км
а б в г д е

Рис. 3. Эпицентры землетрясений и тектонических сейсмических событий на схеме укрупнённого тектонического районирования (докембрий и палеозой) южной части Урала (схема по: Геологическая карта … , 1985):

Границы структур: *а* – 1 порядка; *б* – II порядка.

Глубинные разломы с приуроченными к ним интрузиями: *в* – ультраосновной магмы; *г* – основной магмы. *д* – сейсмостанции Aru и Arti.

е – эпицентры землетрясений и наиболее сильных сейсмических событий с условными номерами:
1 – дата 16.12.2008 г., магнитуда 3,2 (mb), г. Нытва, Пермский край;
2 – 26.12.2008 г., 1,8 (mb), г. Оса, Пермский край;
3 – 27.04.2007 г., 3,6 (mb), Н. Тагил, Свердловская обл.;
4 – 21.09.2005 г., 3,1 (mb), В. Тагил, Свердловская обл.;
5 – 19.10.2015 г., 4,1 (mb), Екатеринбург;
6 – 17.08.1914 г., магнитуда 5,1, п. Билимбай, Свердловская обл.;
7 – 18.08.2002 г., 3,1 (mb), г. Златоуст, Челябинская обл.;
8 – 15.10.2003 г., 2,7 (mb), г. Златоуст, Челябинская обл.;
9-10 – 07.07.2004 г., 2,8 и 2,4 (mb);
11-12 – 02.10.2006 г., 2,0 и 2,0 (mb);
13-14 – 05.09.2018, 4,7 (md), 4,4 (mb) и 3,0 (md), 2,9 (mb);
15 – 29.09.2018 г., >3,1 (md), г. Катав-Ивановск, Челябинская обл.

Главнейшие глубинные разломы: 1 – Бардымский, 2 – Неройкский, 3 – Вишерско-Сарановский, 4 – Кусинско-Зюраткульский, 5 – Кракинский, 6 – Сакмаро-Кос-Истекский, 7 – Керпинсайский, 8 – Войкаро-Сыньинский, 9 – Азаховгортский, 10 – Салатимский, 11 – Платиноносный, 12 – Серовско-Маукский, 13 – Мугортский, 14 - Таловско-Халиловский, 15 – Узынкырско-Крыктинский, 16 – Сугомакско-Кацбахский, 17 – Сандыктауско-Шартайский, 18 – Сартыньинский, 19 – Массавинско-Усть-Салдинский, 20 – Пийско-Петрокаменский, 21 – Александровский, 22 – Балтымский, 23 – Первомайско-Кургановский, 24 – Косаргинско-Казбаевский, 25 – Усть-Лозьвинский, 26 – Сусанско-Асбестовский, 27 – Муслюмовско-Красногорский, 28 – Успеновско-Павловский, 29 – Турутинско-Наследницкий, 30 – Сарыобинский, 31 – Джетыгаринско-Буруктальский, 32 – Максимовский, 33 – Западно-Тюменский, 34 – Изгирский.

Тектонические структуры. 1 – *Камско-Башкирский мегасвод*: 1-1 – Юго-Восточный склон Волго-Уральской антиклизы; 1-2 – Верхнекамская мегавпадина. 4 – *Предуральский прогиб*: 4-1 – Коротаихинско- Воркутинская мегавпадина; 4-2 – Большесынинско-Верхнепечорская мегавпадина; 4-3 – Уфимско-Соликамская мегавпадина; 4-4 – Бельская мегавпадина. 5 – *Западно-Уральская внешняя зона складчатости:* 5-1 – Вайгачско- Пайховский мегаантиклинорий; 5-2 – Едунейско-Саледская структура; 5-3 – Щугоро-Вишерская; 5-4 – Кизеловска-Дружининская структура. 6 – *Центрально -Уральское поднятие*: 6-1 – Полярно-Уральский м-а; 6-2 – Приполярно-Уральский м-а; 6-3 – Ляпинско-Кутимский м-а; 6-4 – Улсовско-Висимский м-с; 6-5 – Кваркушско-Каменногорский м-а; 6-6 – Уфалейско-Уральский м-а; 6-7 – Зилаирско-Эмбенский м-с; 6-8 – Билимбайско-Аутский с-м-с; 6-9 – Башкирский м-а. 7 – *Тагильско-Магнитогорсий прогиб*: 7-1 – Щучьинский м-с; 7-2 – Войкарский м-с; 7-3 – Тагильский м-с; 7-4 – Магнитогорский м-с. 8 – *Восточно-Уральское поднятие*: 8-1 – Ангальско-Березовский м-а; 8-2 – Тутлеимско-Анеевский с-м-с; 8-3 – Ялбыньинско-Пониловский м-а; 8-4 – Тальминский с-м-с; 8-5 – Сосвинско-Коневский м-а; 8-6 – Медведевско-Свердловский м-а; 8-7 – Верхотурско-Верхисетский м-а; 8-8 – Сысертско-Ильиногорский м-а; 8-9 – Арамильско- Сухтелинский м-а; 8-10 – Челябинско-Сундукский м-а; 8-11 – Адамовско-Мугоджарский м-а; 8-12 – Еленовско-Карабутакский м-с; 8-13 – Текельдытауский м-а. 9 – *Восточно-Уральский прогиб*: 9-1 – Пелымский м-с; 9-2 – Алапаевско-Теченскийм м-с; 9-3 – Копейско-Бреденский м-с; 9-4 – Прииргизский м-с. 10 – *Зауральское поднятие*: 10-1 – Шаимско-Кузнецовский м-а; 10-2 – Добринский с-м-с; 10-3 – Камышловский м-а; 10-4 – Талицкий м-с; 10-5 – Ницинско-Шадринский м-а; 10-6 – Батуринский с-м-с; 10-7 – Троицко-Карашатауский м-а; 10-8 – Александровско-Денисовская структурная зона. 11 – *Тюменско-Кустанайский прогиб*: 11-1 – Леушинский м-с; 11-2 – Валерьяновский м-с; 11-3 – Боровской м-а. 12 – *Тобольско-Убаганское поднятие*: 12-1 – Демьяновский м-а; 12-2 – Семиозерный м-с; 12-3 – Тирсекский м-а. 13 – *Аксуатский прогиб*. 14 – *Прикаспийская синеклиза*. 15 – *Берчегурско-Челкарский периклинальный прогиб.*

Принятые сокращения: м-а – мегантиклинорий, м-с – мегасинклинорий, с-м-с – седловинный мегасинклинорий

к прежнему уровню наступила после его завершения. Существование таких явлений, которые определены как постсейсмические деформации, происходящие в областях, значительно превосходящих по размеру очаговую зону сильных землетрясений, выявлено по спутниковым гравиметрическим наблюдениям (Михайлов и др., 2016). По мониторинговым наземным измерениям для землетрясений небольшой силы такие эффекты наблюдаются нами впервые. Для интерпретации скачка Δg предложен вариант проявления постсейсмической деформации горных пород на расстояниях свыше 200 км от эпицентра и на глубину более 10 км.

Сейсмический процесс, связанный с землетрясением 29 сентября 2018 г., начался примерно с 9 сентября и продолжался до 2 октября. Перед землетрясением было зарегистрировано 15 форшоков, а после основного толчка – 14 афтершоков (см. табл. 1). На записи гравиметра эффект не обнаружен.

Отметим, что эпицентр ощутимого землетрясения (Кусонский и др., 2017), которое произошло 18 октября 2015 г., также находится в Западно-Уральской внешней зоне в Кизиловско-Дружининской структуре и приурочен к границе Предуральского прогиба (Уфимско-Соликамская мегавпадина) (см. рис. 3, событие 5). Сейсмический процесс длился тогда до 22 октября – было зарегистрировано несколько очень слабых афтершоков. По гравиметрическим наблюдениям обсерватории «Арти» перед землетрясением отмечены флуктуации высоты точки регистрации, расположенной на расстоянии около 80 км от эпицентра, и последующее её уменьшение на 10–12 мм после землетрясения с релаксацией к прежнему уровню при завершении сейсмического процесса. Данные подтверждаются геодезическими наблюдениями суточных абсолютных значений координат пункта Artu GPS. В качестве варианта, это может свидетельствовать о предшествующих землетрясению вариациях величины деформации горных пород на расстояниях свыше 80 км и на глубину более 10 км и постсейсмической деформации – временном проседании участка земной поверхности, последовавшем в результате землетрясения.

Заключение

На Урале 4 и 29 сентября 2018 г. были зарегистрированы ощутимые землетрясения, эпицентры которых расположены в районе г. Катав-Ивановск Челябинской области. По данным наблюдений сейсмостанций обсерватории «Арти» ИГФ УрО РАН и ФИЦ ЕГС РАН были определены параметры землетрясений и установлено по наличию афтершоков, что сейсмический процесс первого из них продолжался до 26 сентября, второго – по наличию форшоков и афтершоков с 9 сентября до 2 октября 2018 г. (возможно, и дольше). Положения эпицентров землетрясений не совпадают. Они находятся на расстоянии 30–40 км друг от друга. Эпицентры землетрясений, как и землетрясения 9 октября 2015 г., расположены в Западно-Уральской внешней зоне складчатости на границе с Предуральским прогибом. В момент землетрясения 4 сентября наблюдалось скачкообразное уменьшение величины гравитационного поля, что предложено интерпретировать как увеличение высоты места регистрации, расположенного от эпицентров на расстоянии около 200 км. Аналогичный эффект был отмечен и после землетрясения 9 октября 2015 г. Предложен вариант интерпретации скачка Δg как результат постсейсмической деформации области горных пород, значительно превышающих по размеру очаговую зону землетрясений. В данном случае на расстояниях свыше 200 км от эпицентра и на глубину свыше 10 км.

Зарегистрированные ощутимые землетрясения 2015, 2018 гг., могут свидетельствовать о значительной по уральским меркам сейсмической активности, наблюдаемой в настоящее время в приграничных участках Западно-Уральской внешней зоны складчатости и Предуральского прогиба. Это позволяет по-новому взглянуть на сейсмичность Урала в целом.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИГФ УрО РАН №0394-2018-0001.

Литература

Геологическая карта Урала масштаба 1:500000. Объяснительная записка к геологической карте Урала масштаба 1:500000 / И.Д. Соболев, С.В. Автонеев, И.А. Автонеева и др. Свердловск: ПГО «Уралгеология» Мингео РСФСР, 1985. 103 с.

Гуляев А.Н. Сейсмичность и сейсмическое районирование Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 6. С. 116–124.

Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. М.: Наука, 1981. 272 с.

Кусонский О.А. Геофизические обсерваторские исследования на Урале. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 280 с.

Кусонский О.А., *Бородин П.Б., Бебнев А.С., Григорьева С.А., Русинова В.В.* Уральские землетрясения 4 января, 19 октября 2015 г. и сопутствующие им возмущения геофизических полей по данным обсерватории «Арти» // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2017. С. 235–239.

Михайлов В.О., *Диаман М., Любишин А.А., Тимошкина Е.П., Хайретдинов С.А.* Крупномасштабный асейсмический крип в областях сильных землетрясений по данным спутников ГРЕЙС о временных вариациях гравитационного поля // Физика Земли. 2016. № 5. С. 70–81.